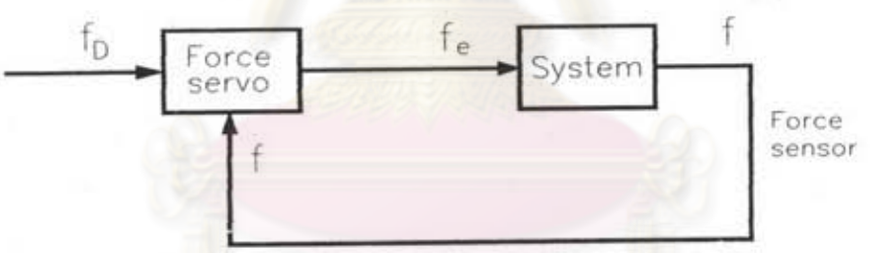
บทที่ 2

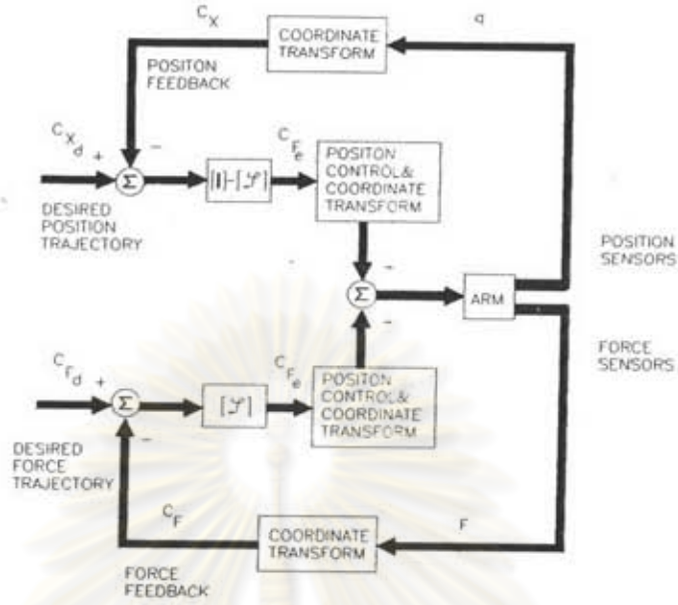
อุปกรณ์ในการตรวจวัดแรง

อุปกรณ์ในการวัดแรงเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดประเภทหนึ่งที่ใช้ในการจำลองระบบประสาทสัมผัสการรับรู้ความรู้สึกของมนุษย์ซึ่งการรับรู้จากระบบประสาทสัมผัสของมนุษย์นั้นก็มีด้วยกันหลายวิธีการเช่นการรับรู้จากแรงสัมผัส การรับรู้จากการมองเห็น และการรับรู้ทางด้านเสียง เป็นต้น สำหรับอุปกรณ์ในการวัดแรงที่เป็นหัวข้อในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จะเป็นจำลองแบบระบบการรับรู้จากแรงสัมผัสของมนุษย์ โดยอาศัยแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์ทำงาน(end effector) ของหุ่นยนต์สัมผัสกับวัตถุหรือชิ้นงานและส่งถ่ายแรงมาที่อุปกรณ์ตรวจวัดแรงที่จะทำการติดตั้งที่บริเวณข้อมือของหุ่นยนต์ และตัวอุปกรณ์วัดแรงนี้ก็จะทำการตรวจวัดค่าของแรงที่เกิดขึ้นและส่งค่าสัญญาณที่วัดได้ไปสู่อุปกรณ์ควบคุมอื่นเพื่อทำการควบคุมเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ให้ได้ค่าของแรงตามที่ต้องการต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าอุปกรณ์ในการวัดแรงนี้ก็จะเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมทางด้านความรู้สึกแบบป้อนกลับ (sensory feedback control) ที่จะช่วยในการให้ข้อมูลของปริมาณแรงที่ต้องการควบคุมซึ่งสามารถแสดงด้วยแผนภาพการควบคุมแบบง่ายๆตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพการควบคุมแรง

แต่โดยส่วนใหญ่แล้วในการทำการควบคุมขนาดของแรงนั้นจะสัมพันธ์กับการควบคุมทางตำแหน่ง ตัวอย่างของงานที่ต้องการการควบคุมทั้งสองแบบไปพร้อมกัน เช่น งานขัดผิวชิ้นงาน ที่ต้องควบคุมขนาดแรงกดและในขณะเดียวกันก็ต้องทำการเคลื่อนที่ไปตามผิวชิ้นงานพร้อมๆกัน ซึ่งวิธีการควบคุมแบบนี้จะเรียกว่า การควบคุมแบบไฮบริด (Hybrid control) (ดูรายละเอียดภาคผนวก ค) ซึ่งสามารถแสดงด้วยแผนภาพการควบคุมตามรูปที่ 2.2

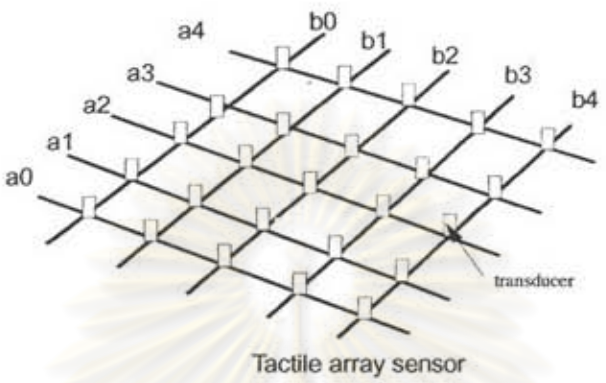


รูปที่ 2.2 แผนภาพการควบคุมแบบไฮบริด

สำหรับระบบการรับรู้แรงสัมผัสของหุ่นยนต์นั้นสามารถทำการตรวจวัดได้ 2 วิธีการ คือ วิธีการทางทางอ้อม (Indirected sensing) โดยอาศัยการตรวจสอบค่าของปริมาณพลังงานที่ถูกส่งไปให้อุปกรณ์ขับดัน (actuator) ของแขนกล เช่นการตรวจวัดค่าของกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ข้อต่อ (joint) ของแขนกล หรือค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่มอเตอร์ขับมือจับ (gripper) วิธีนี้จะเป็นการหาค่าของแรงทางอ้อมโดยใช้ค่าของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้นำไปทำการคำนวนหาค่าของแรงตามลักษณะของกลไกที่ใช้ขับเคลื่อน วิธีการแบบนี้ทำได้สะดวกแต่มีข้อจำกัดที่ค่าของแรงไม่ได้ถูกวัดโดยตรงทำให้อาจเกิดความผิดพลาดในการทำงานได้เมื่อค่าพารามิเตอร์ของระบบเช่นค่าความฝืดของระบบ มีค่าเปลี่ยนไป

ส่วนวิธีที่สองจะเป็นการตรวจวัดโดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดโดยตรง (directed sensing) ซึ่งสามารถแบ่งแยกอุปกรณ์ตรวจวัดแรงแบบนี้ได้ 2 ประเภทใหญ่ตามลักษณะของวิธีการที่ใช้ในการวัดแรง แบบแรกจะเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้การตรวจวัดขนาดของแรงบีบจับหรือแรงที่สัมผัสกับวัตถุชิ้นงานจะเรียกอุปกรณ์ประเภทนี้ว่า อุปกรณ์ตรวจวัดแรงแบบสัมผัส(touch sensor) ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นโครงตาข่ายที่ประกอบด้วยตัวตรวจวัดเล็กๆจำนวนมากรวมกันต่อเนื่องเป็นผืนเดียวกันซึ่งจากลักษณะดังกล่าวอาจเรียกอุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้ได้อีกชื่อหนึ่งว่า

อุปกรณ์ตรวจวัดแบบเทกซ์ไทล์ (textile sensor) อุปกรณ์แบบนี้จะมีความยุ่งยากและซับซ้อนในการสร้างและการใช้งาน เนื่องจากประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดเล็กๆจำนวนมาก

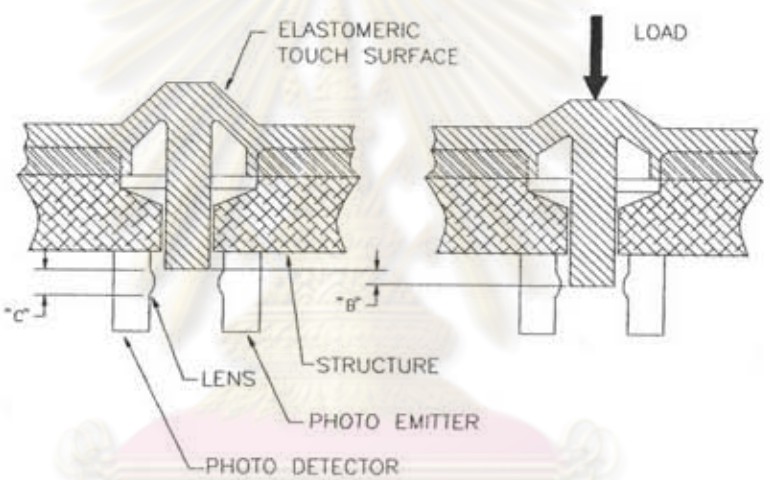


รูปที่ 2.3 ภาพแสดงลักษณะอุปกรณ์ตรวจวัดแบบเทกซ์ไทล์

ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดแรงอีกแบบนั้นจะเป็นแบบที่จะสนใจในขนาดและทิศทางของแรงเท่านั้นจึงสามารถเรียกได้ว่าอุปกรณ์วัดแรง (force sensor) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแรงที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก โดยจะใช้การตรวจวัดค่าความเครียดหรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้างของอุปกรณ์วัดแรงเนื่องจากแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ทำงาน(end effector)ของแขนกล อุปกรณ์ตรวจวัดแรงแบบนี้ส่วนใหญ่จะทำการติดตั้งที่บริเวณข้อมือของแขนกลทำให้สามารถเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า ริสท์เซนเซอร์ (wrist sensor) สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัดแรงประเภทต่างๆ ที่สำคัญ มีดังต่อไปนี้

1. **<u>อุปกรณ์ตรวจวัดแรงแบบสัมผัส (touch sensor or tactile sensor)</u>** ลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจวัดประเภทนี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดจำนวนมากประกอบกันขึ้นเป็นแผ่นเดียวกันในลักษณะเป็นแบบโครงตาข่าย (array) ตามรูปที่ 2.3 โดยในแต่ละจุดของโครงร่างตาข่ายก็จะมีอุปกรณ์ตรวจวัดเล็กๆติดอยู่และจะมีแผ่นวัสดุจำพวกโพลีเมอร์ปิดทับเพื่อป้องกันอีกชั้นหนึ่ง โดยส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้จะใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกดหรือแรงบีบอัดของมือจับของแขนกล โดยเมื่อมีแรงกดเกิดขึ้นในแต่ละจุดของโครงร่างตาข่ายซึ่งจะมีอุปกรณ์ตรวจวัดเล็กๆติดตั้งอยู่ก็จะส่งสัญญาณออกมาและจากลักษณะที่เป็นแผ่นผืนเดียวกันต่อเนื่องก็จะทำให้ค่าของสัญญาณเอาท์พุตในแต่ละจุดก็จะมีลักษณะต่อเนื่องกันไป ทำให้สามารถตรวจสอบขนาดรูปร่างของชิ้นงานและแรงกดที่กระทำบนพื้นผิวสัมผัสนั้นได้ สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้สามารถจำแนกได้หลายแบบตามลักษณะของตัวตรวจวัดที่ใช้ ได้ดังต่อไปนี้

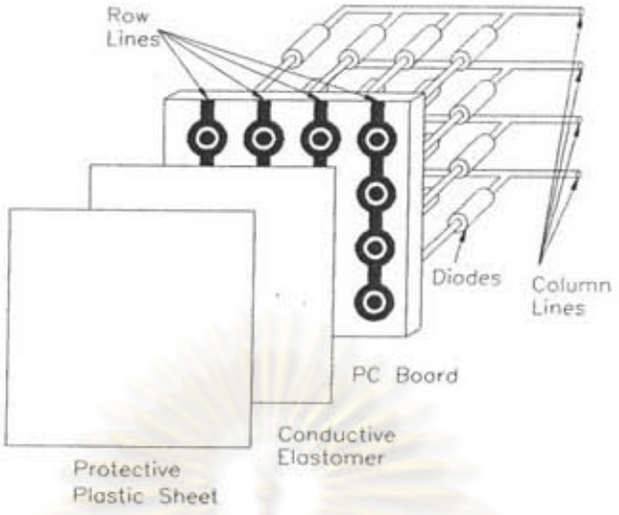
1.1 **โฟโต้ดีเทกเตอร์เทกซ์ไทล์เซนเซอร์ (Photodetector tactile sensor)** อุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้จะใช้วิธีการทางแสงโดยในแต่ละจุดของโครงร่างจะประกอบด้วยยางอีลาสโตเมอร์ (elastomer)ซึ่งจะมีปลายด้านหนึ่งยื่นออกมาทางด้านตัวตรวจวัดแบบโฟโต้อีมิตเตอร์ดีเทกเตอร์ (photo emitter detector) เมื่อชิ้นงานสัมผัสกับแผ่นยางอีลาสโตเมอร์ก็จะถูกกดอัดและอีกด้านก็จะยื่นเข้าไปขวางทางเดินของแสง ซึ่งจากลักษณะรูปร่างของวัตถุ ก็จะทำให้ได้สัญญานไบนารี่แสดงรูปร่างขนาดและตำแหน่งของวัตถุ ในขณะเดียวกัน ค่าของสัญญาณที่ได้ในแต่ละจุดก็เป็นสัดส่วนกับระยะที่ยื่นของยางอีลาสโตเมอร์ เนื่องจากเอาท์พุทของโฟโต้ดีเทกเตอร์จะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความเข้มสว่างของแสงทำให้สามารถรู้ขนาดของแรงซึ่งจะสัมพันธ์กับระยะยุบตัวของยางอีลาส-โตเมอร์ได้



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์วัดแรงแบบโฟโต้ดีเทกเตอร์ เท็กซ์ไทล์เซนเซอร์

อุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้มีข้อเสียคือไฮสเตอเรซิส(hystresis)ของยางอีลาสโตเมอร์ทำให้ค่าสัญญาณไม่กลับคืนตำแหน่งเดิม และเรื่องอายุการใช้งานของยางอีลาสโตเมอร์

1.2 **คอนดักทีฟอีลาสโตเมอร์เซนเซอร์ (Conductive elastomer sensor)** อุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้จะใช้วัสดุยางอีลาสโตเมอร์แบบที่เรียกว่า ดีเฟลกโตมิเตอร์ (deflectometer) ซึ่งยางอีลาสโต-เมอร์แบบนี้มีจะมีคุณสมบัติด้านการนำไฟฟ้าซึ่งทำได้โดยการเติมเงินหรือคาร์บอนลงในวัสดุยางอีลาสโตเมอร์ คุณสมบัติด้านการนำไฟฟ้าของดีเฟลกโตมิเตอร์จะมีลักษณะพิเศษคือค่าความต้านทานจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างเมื่อถูกกดอัด

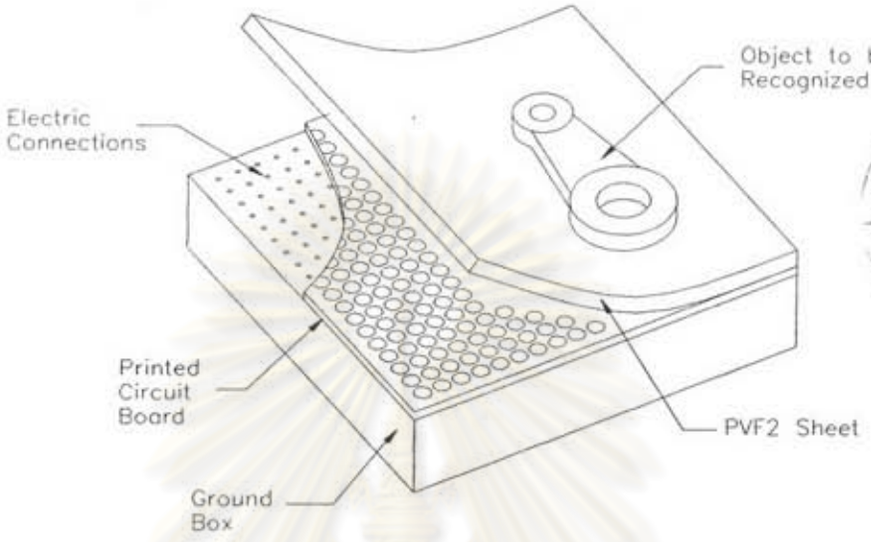


รูปที่ 2.5 อุปกรณ์วัดแรงแบบคอนดักทีฟอีลาสโตเมอร์เซนเซอร์

อุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้จะประกอบด้วยแผ่นพลาสติกทับหน้าดีเฟลกโตมิเตอร์และแผ่นวงจรไฟฟ้าที่มีวงแหวนของขั้วไฟฟ้า 16 ชุด วงแหวนนอกจะติดต่อถึงกันในลักษณะของแถวจำนวน 4 แถวและวงแหวนในก็จะติดต่อถึงกันในลักษณะของคอลัมน์จำนวน 4 คอลัมน์เช่นเดียวกัน แผ่นดีเฟลกโตมิเตอร์ที่ปิดทับอยู่จะมีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามแรงกดทำให้ความต้านทานระหว่างขั้วของวงแหวนนอกและวงแหวนมีค่าเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับแรงกดตามไปด้วย และจากข้อมูลที่ได้ก็สามารถนำไปทำการวิเคราะห์หารูปร่างและขนาดของแรงกดได้ต่อไป สำหรับข้อเสียของอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดนี้คือเรื่องอายุการใช้งานของตัวดีเฟลกโตมิเตอร์ที่มีอายุการใช้งานจำกัดและปัญหาในเรื่องไฮสเตอเรซิส ที่ความต้านทานของดีเฟลกโตมิเตอร์จะไม่กลับคืนสู่ค่าเดิมก่อนที่จะถูกกดอัดทันทีและต้องใช้ระยะเวลานานก่อนที่จะกลับคืนสู่สภาพเดิม

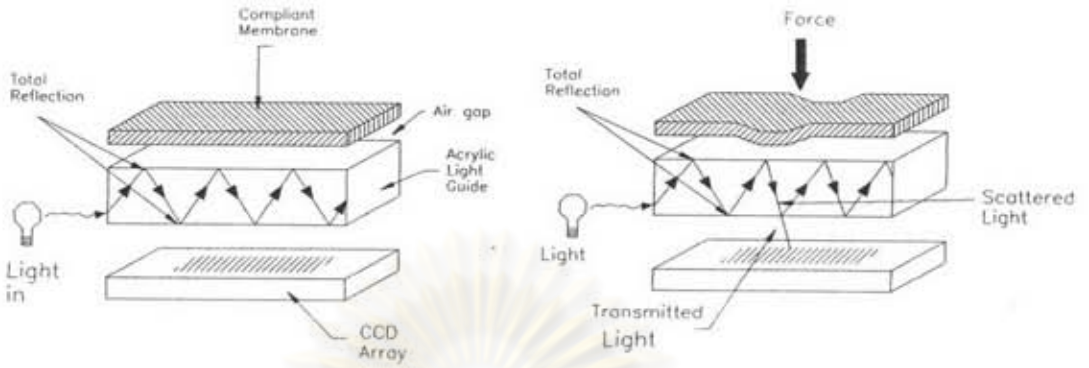
1.3 **โพลีเมอร์เทกซ์ไทล์เซนเซอร์ (Polymer tactile sensor)** อุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้จะใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติด้านเปียโซอิเลกตริก (piezoelectric) ซึ่งมีคุณสมบัติแอคทีฟที่สามารถสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ เมื่อขนาดของวัตถุเปลี่ยนแปลง วัสดุพวกนี้ได้แก่โพลีเมอร์โพลีไวนิลไอดีนฟลูออไรด์ (polymer polyvinylidene fluoride (PVF2,PVDF)) ซึ่งมีคุณสมบัติด้านเปียโซอิเลกตริกที่มีค่าความไวสูงให้ความต่างศักย์เอาท์พุตที่สูงแม้การเปลี่ยนแปลงทางกลจะมีขนาดเล็กและมีความแข็งแรงทนทาน สามารถให้สัญญาณเอาท์พุทได้เมื่อถูกกดอัด (direct mode) และเมื่อถูกดัดให้ยืด (stretch mode) โดยจะให้สัญญาณเอาท์พุตเมื่อถูกดัดสูงกว่าแต่ค่าของเอาท์พุทจะไม่เสถียร นอกจากนี้จะพบว่าวัสดุประเภทนี้จะมีคุณสมบัติด้านไพโรอิเลกตริก(pyroelectric)ซึ่งจะทำให้ค่าสัญญาณ

เอาท์พุทมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงแต่การเปลี่ยนแปลงแบบนี้ก็จะใช้ระยะเวลานานพอสมควรทำให้ไม่มีผลต่อการวัดมากนัก



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์วัดแรงชนิดโพลีเมอร์เทกซ์ไทล์เซนเซอร์

1.4 **ออพติคัลเท็กซ์ไทล์เซนเซอร์ (Optical tactile sensor)** อุปกรณ์ตรวจวัดประเภทนี้จะใช้หลักการหักเหของแสง โดยมีลักษณะตามรูปที่ 2.7 ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวกลางโปร่งใสที่ทำจากอะคริลิก แหล่งกำเนิดแสง ตัวรับแสงแบบที่เรียกว่า ชาร์จ์คัพเปิลดีไวซ์ (Charge-Coupled Device (CCD)) และแผ่นรอง (compliance membrane) ซึ่งแยกจากกันโดยช่องอากาศ จากรูปแสงเดินทางในตัวกลางโปร่งใสจากด้านซ้าย แสงส่วนมากจะหักเหที่ขอบรอยต่อระหว่างอากาศกับตัวกลางอะคริลิก และออกไปทางด้านขวาจะมีแสงส่วนน้อยเท่านั้นที่ตกกระทบตัวรับแสงแบบ CCD แต่เมื่อแผ่นรองถูกกดกับวัตถุชิ้นงานจะทำให้แผ่นรองยุบตัวสัมผัสกับผิวของตัวกลางอะคริลิก ทำให้เกิดการหักเหของแสงที่จุดสัมผัสนี้และมีการกระจัดกระจายมากขึ้นและจะมีบางส่วนที่จะหักเหในทิศทางที่สามารถทะลุผ่านตัวกลางได้และจะตกกระทบกับตัวรับแสงซึ่งสามารถใช้วิธีการออพติคัลอิมเมจโปรเซสซิ่ง(optical image processing) หาขนาดของรูปร่าง ตำแหน่ง และขณะเดียวกันความเข้มของแสงที่ตกกระทบตัวรับแสงก็จะเป็นสัดส่วนกับความกดดันที่แผ่นรองนี้ด้วย ทำให้สามารถหาขนาดของแรงได้เช่นเดียวกัน วิธีการแบบนี้ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนของจุดตรวจวัดเล็กๆที่ตัวรับแสงได้มากทำให้การตรวจวัดมีความละเอียดสูง

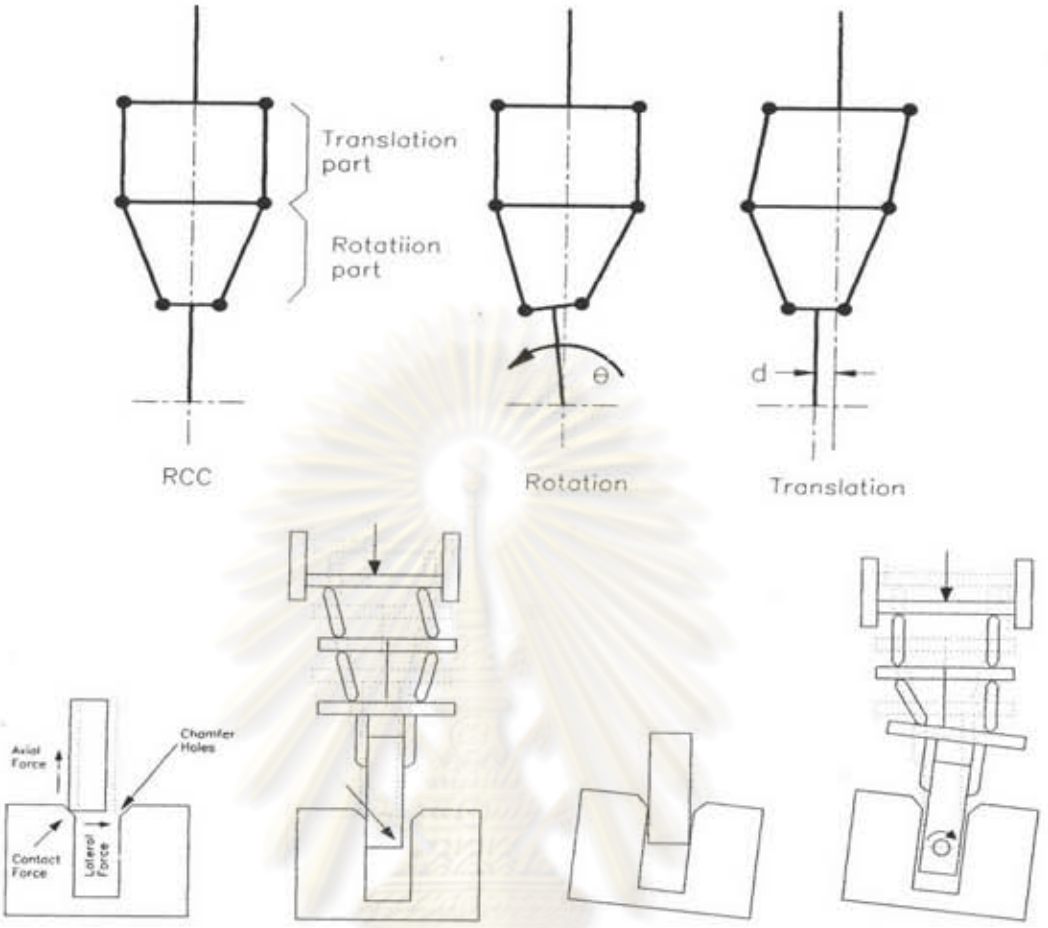


รูปที่ 2.7 อุปกรณ์วัดแรงแบบ ออพติคัลเท็กซ์ไทล์ เซนเซอร์

2. **อุปกรณ์ตรวจวัดแรง (Force sensor)**

อุปกรณ์วัดแรงแบบนี้ใช้สำหรับการตรวจวัดหาค่าของแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ตัวอุปกรณ์ทำงานส่วนที่สัมผัสกับวัตถุชิ้นงาน โดยส่วนใหญ่จะทำการติดตั้งระหว่างปลายแขนของหุ่นยนต์กับอุปกรณ์ทำงาน ทำให้สามารถเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่าริสท์เซนเซอร์ (wrist sensor) อุปกรณ์วัดแรงแบบนี้สามารถแบ่งได้อีกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ อุปกรณ์ประเภทพาสซีพ (passive force sensor) ซึ่งอุปกรณ์วัดแรงประเภทนี้จะไม่ส่งสัญญาณออกมาแต่จะอาศัยลักษณะของโครงสร้างทำการปรับตัวเองตามสภาพของแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยจะปรับโครงสร้างเพื่อลดแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด ส่วนอีกประเภทหนึ่งจะเป็นอุปกรณ์ประเภทแอคทีพ (active force sensor)ที่อาศัยตัวตรวจวัด (transducer) ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำเช่นการเคลื่อนตัวหรือหมุนตัวก็จะใช้ตัวตรวจวัดการเคลื่อนที่ (displacement sensor) หรือการเปลี่ยนแปลงทางความเครียดของโครงสร้างก็จะใช้ตัวตรวจวัดความเครียดสเตรนเกจ (strain gage) ในการตรวจวัดความแปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น สำหรับอุปกรณ์วัดแรงนั้นจะมีด้วยกันหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างที่ออกแบบ ตัวตรวจวัดและลักษณะของการทำงานที่ต้องการ โดยขอยกตัวอย่างที่คิดว่าน่าศึกษาดังต่อไปนี้

1. **รีโมตเซนเตอร์คอมไพลแอนซ์ (Remote Centre Compliance (RCC))** อุปกรณ์ชนิดนี้อาศัยลักษณะของโครงสร้างที่สามารถทำการปรับตัวเองตามสภาพของแรงที่มากระทำ (Passive force sensor) มีประโยชน์อย่างมากในงานประกอบประเภทงานสวม เช่น งานประกอบแบริ่งลงในเฮาซิ่ง งานประกอบเพลาเข้ากับแบริ่ง เป็นต้น มีลักษณะรูปร่างตามรูปที่ 2.8



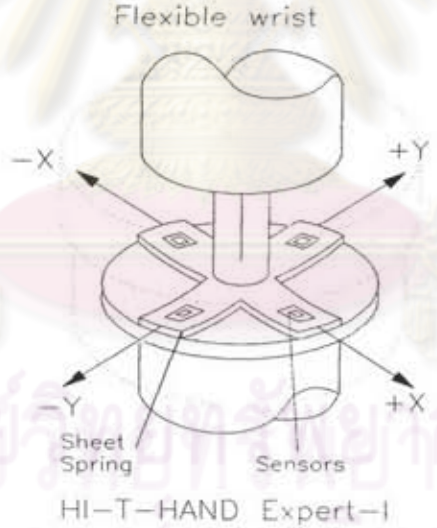
รูปที่ 2.8 ภาพแสดงรีโมตเซนเตอร์คอมไพลแอนซ์

ตัวโครงสร้างของอุปกรณ์แบบนี้จะสามารถหยืดหยุ่นได้และจะคัดตัวเมื่อมีแรงบิดมากระทำ โดยจะมีส่วนประกอบสองส่วนส่วนแรกเป็นส่วนที่เรียกว่าส่วนเคลื่อนที่ (translation part) ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของการหมุน(rotation part) เมื่อมีแรงหรือโมเมนต์มากระทำ ตัวโครงสร้างแบบนี้ก็จะปรับตัวเองให้เกิดแรงปฏิกิริยาน้อยที่สุดโดยการปรับตัวให้เคลื่อนที่โดยส่วนเคลื่อนที่หรือหมุนรอบจุดปลายของเครื่องมือ(tool tip)โดยส่วนของการหมุน ซึ่งเป็นการพยายามที่จะทำให้อุปกรณ์ทำงานและชิ้นงานมีจุดศูนย์กลางเดียวกันจึงสามารถเรียกอุปกรณ์แบบนี้ได้ว่ารีโมตเซนเตอร์คอมไพล์แอนซ์ (Remote Centre Compliance (RCC))

2.2 **<u>อินสตรูเมนต์รีโมตเซนเตอร์ คอมไพล์แอนซ์ (Instrumented Remote center - compliance (IRCC))</u>** อุปกรณ์ชนิดถูกพัฒนาต่อจากรีโมตเซนเตอร์คอมไพล์แอนซ์ ที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.1 โดยการพัฒนาของ MIT Draper Laboratories โดยทำการติดตั้งตัวตรวจวัดการเคลื่อนที่ (displacement sensor)เพิ่มเติมเข้าไปเพื่อตรวจวัดการเคลื่อนที่หรือการหมุนของตัวโครงสร้างที่อยู่

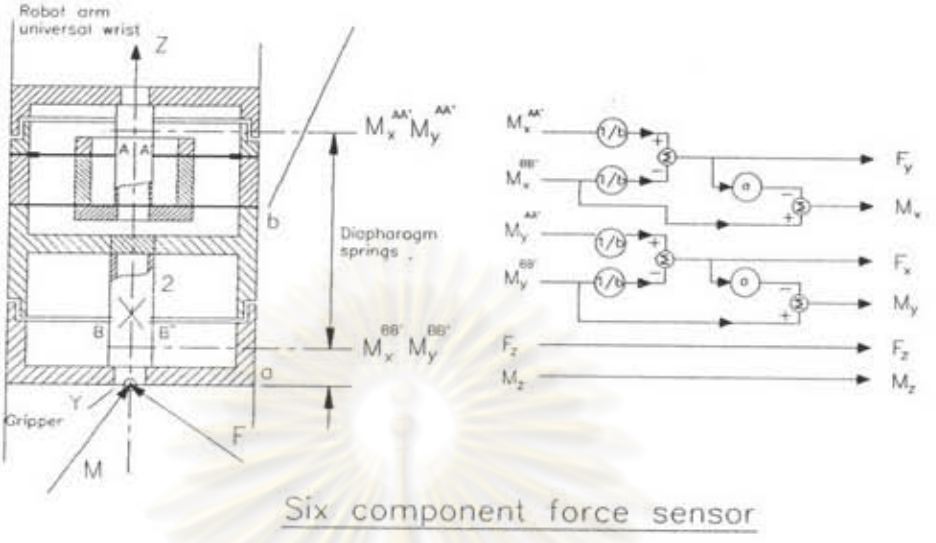
ภายในของ RCC จากลักษณะของโครงสร้างที่มีลักษณะแข็งเกร็ง (rigid) การเคลื่อนที่ของโครงสร้างก็จะเป็นอัตราส่วนกับแรงและโมเมนต์ที่กระทำ การพัฒนาอุปกรณ์ชนิดนี้จะเป็นการรวมข้อดีของอุปกรณ์แบบ RCC ที่พยายามลดแรงปฏิกิริยาให้น้อยที่สุด และข้อดีของระบบแบบแอคทีฟ (active sensor) ที่ช่วยในการตรวจวัดสภาพการทำงานและความสำเร็จของงานทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้นเช่นใช้ในงานสวมประกอบชิ้นส่วน(assembly)การตรวจการสัมผัสกับชิ้นงาน (detecting contact) การควบคุมขนาดของแรงตามการเคลื่อนที่ (contour following) และการจดจำทางเดิน (self-teaching of a contour) ซึ่งสามารถใช้ศึกษาลักษณะผิวของชิ้นงาน เป็นต้น

2.3 **ไฮทีแฮนด์เอกซ์เพิร์ทวัน (Hi-T-Hand Expert 1)** อุปกรณ์วัดแรงแบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย T.Goto, T.Inoyama และ K.Takeyasu บริษัทฮิตาชิ ประเทศญี่ปุ่นเพื่อใช้ในการศึกษาการสวมประกอบชิ้นงานโดยใช้หุ่นยนต์ ตัวโครงสร้างทำจากแผ่นเหล็กสปริงทำให้โครงสร้างสามารถที่จะยืดหยุ่นตัวได้และใช้สเตรนเกจเป็นตัวตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของความเครียดที่เกิดขึ้นซึ่งจะสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ในแนวแกน X Y และ Z มีลักษณะรูปร่างตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงไฮทีแฮนด์เอกซ์เพิรทวัน

2.4 **อุปกรณ์วัดแรงแบบซิกซ์คอมโพเนนซ์ (Six component force sensor)** อุปกรณ์วัดแรงชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย H. Van Brussel และ J. Simons, Katholieke Universiteit Leuven ประเทศเบลเยี่ยมโดยอุปกรณ์วัดแรงชนิดนี้มีความสามารถในการวัดแรงและโมเมนต์ได้ทั้ง 3 แนวแกน X Y และ Z มีลักษณะรูปร่างตามรูปที่ 2.10

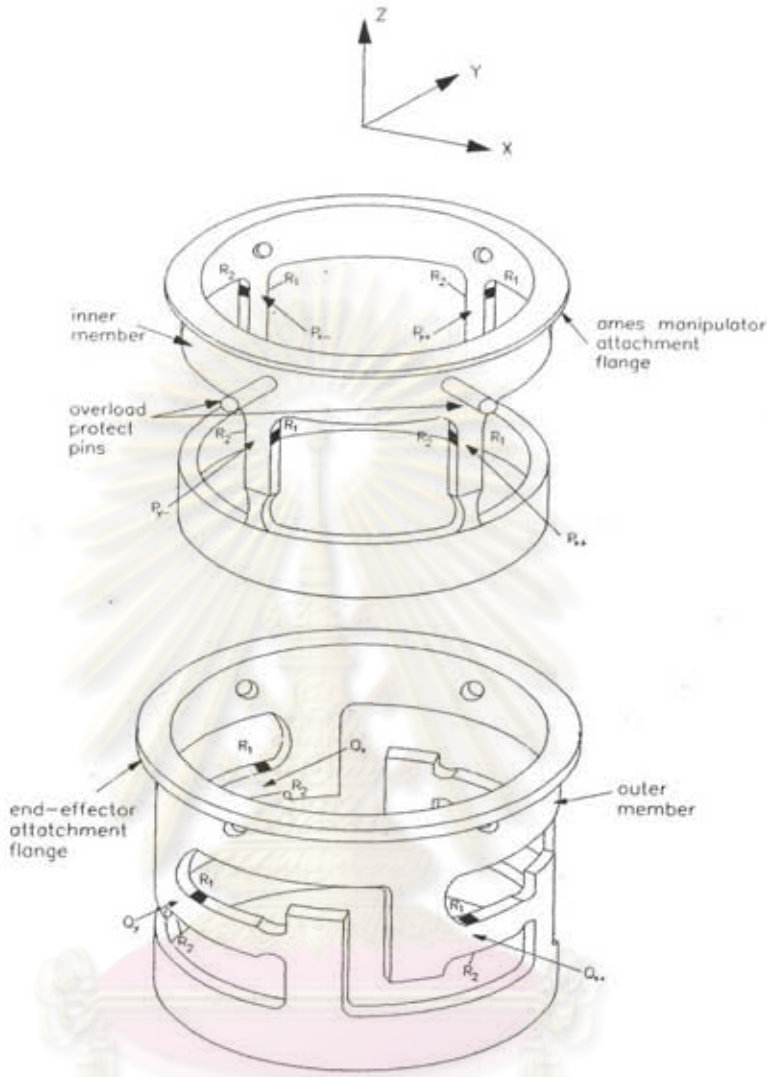


รูปที่ 2.10 อุปกรณ์วัดแรงแบบซิกซ์คอมโพเนนซ์

การวัดแรงในแนวแกน Z วัดได้จากสเตรนเกจที่ติดตั้งอยู่บนแผ่นไดอะแฟรมสปริง และค่าของโมเมนต์ในแนวแกน Z วัดได้จากชุดของสเตรนเกจที่ติดตั้งที่เพลาหมายเลข 2 ในทิศทางทำมุม 45 องศา ส่วนค่าของแรง F_x F_y M_x และ M_y จะทำให้เกิดโมเมนต์ที่หน้าตัด AA' และ BB" ซึ่งสามารถวัดค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้โดยการติดตั้งสเตรนเกจที่บริเวณหน้าตัดดังกล่าวและจากค่าโมเมนต์สามารถนำมาทำการคำนวนแก้สมการหาค่าของแรงและโมเมนต์ในแนวแกน X และแกน Y ได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$M_x^{AA'} = F_y(a+b) + M_x$$
$$M_y^{AA'} = F_x(a+b) + M_y$$
$$M_x^{BB'} = F_y a + M_x$$
$$M_y^{BB'} = F_x a + M_y$$

2.5 **The SRI-NASA Ames force-torque sensor** อุปกรณ์วัดแรงชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกที่มหาวิทยาลัยแสตนฟอรด์โดย V.Scheinman และถูกพัฒนาต่อที่ SRI-NASA อุปกรณ์วัดแรงแบบนี้สามารถวัดแรงและโมเมนต์ได้ทั้ง 3 แนวแกน โดยทำขึ้นทำจาก ท่ออลูมิเนียมกัดขึ้นรูปลักษณะตามรูปที่ 2.11 และใช้สเตรนเกจในการตรวจวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงหรือโมเมนต์มากระทำกับตัวอุปกรณ์วัดแรงชนิดนี้



รูปที่ 2.11 The SRI-NASA Ames force-torque sensor

เมื่อค่าสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าเอาท์พุทจากสเตรนเกจมีค่าเป็น Px+ Px- Py+ Py- Qx+ Qx- จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและโมเมนต์กับสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าเอาท์พุทดังนี้

$$F_x \sim P_y+ + P_y-$$

$$F_y \sim P_x+ + P_x-$$

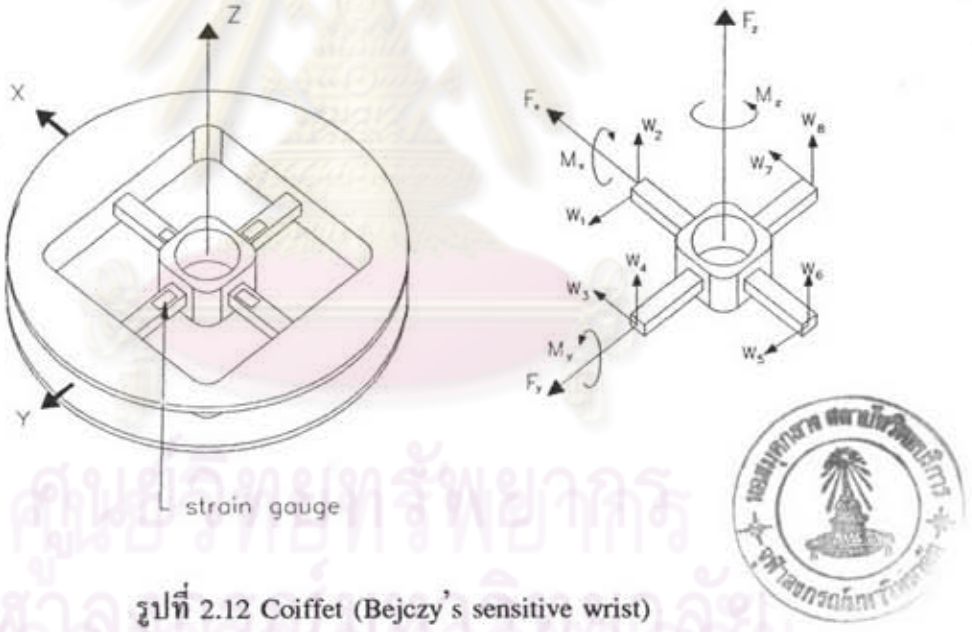
$$F_z \sim Q_x+ + Q_x- + Q_y+ + Q_y-$$

$$M_x \sim Q_y + - Q_y-$$

$$M_y \sim Q_x- - Q_x+$$

$$M_z \sim P_x + - P_x- - P_y+ + P_y -$$

2.6 **Coiffet (Bejczy's sensitive wrist)** อุปกรณ์วัดแรงแบบนี้มีลักษณะรูปร่างคล้ายไม้กางเขนตามรูปที่ 2.12 ทำขึ้นมาจากอลูมิเนียมชิ้นเดียวถูกคิดค้นโดย A.K. Bejczy ซึ่งสามารถวัดแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์ทำงานได้โดยการแปลงแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งของโครงสร้างของตัวอุปกรณ์วัดแรงกลับไปที่อุปกรณ์ทำงาน สำหรับการหาค่าของแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจะใช้การแปลงค่าจากสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้า W1-W8 จากชุดของสเตรนเกจแบบเซมิคอนดักเตอร์ซึ่งยึดติดกับแกนโครงสร้าง ลักษณะของตำแหน่งติดตั้งนั้นจะต้องติดตั้งในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของแรงและโมเมนต์และอยู่ในตำแหน่งที่จะทำให้สัญญานมีความไวมากที่สุด สำหรับวิธีการแปลงนั้นจะทำการคูณค่าสัญญาณ W1ถึงW8 กับเมตริกซ์ (calibration matrix) ขนาด 6x8 ซึ่งหามาจากขั้นตอนการทดสอบเทียบค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงและโมเมนต์กับสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าจากชุดของสเตรนเกจทั้ง 8



รูปที่ 2.12 Coiffet (Bejczy's sensitive wrist)

โดยส่วนมากแล้ว force sensor หรือ wrist sensor จะใช้เป็นอุปกรณ์ตัวรับสัญญานไฟฟ้าสำหรับการแปลงแรงและโมเมนต์ที่กระทำที่เครื่องมือ (end effector) ของหุ่นยนต์ไปสู่อุปกรณ์ตรวจวัดที่ บริเวณข้อมือของหุ่นยนต์ (wrist) และข้อสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบและจัดสร้าง ก็คืออุปกรณ์ wrist sensor จะต้องไม่มีผลต่อความแม่นยำและเป็นอุปสรรคในการทำงานของแขนกลนั้น ดังนั้นลักษณะคุณสมบัติที่สำคัญที่ต้องพิจารณาในการออกแบบสามารถสรุปได้ดังนี้

1.ค่าความแข็งสูง (Highstiffness) ความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์ทางกลมีส่วนสัมพันธ์กับค่าความแข็ง stiffness ดังนั้นอุปกรณ์ที่มีความแข็งจะทำให้แรงที่กระทำถูกกำจัด(damped)ไปได้อย่างรวดเร็วซึ่งจะทำให้การวัดค่าในช่วงเวลาสั้นๆมีความถูกต้องมากขึ้นนอกจากนั้นยังลดการยุบตัว deflection ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำภายนอก ซึ่งเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดจากตำแหน่งได้

2.ขนาดกระทัดรัด (Compact design) เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์วัดแรงจะไม่ไปมีผลกระทบต่อการทำงานของแขนกลและขณะเดียวกันก็จะไม่ประทบต่อวัตถุที่อยู่ในพื้นที่ทำงานของแขนกล และข้อสำคัญอีกข้อหนึ่งคือควรติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงให้ใกล้กับเครื่องมือทำงานให้มากที่สุดเพื่อลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแขนกล และข้อควรคำนึงอีกข้อหนึ่งคือต้องการวัดแรงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นควรออกแบบให้ระยะทางระหว่างปลายเครื่องมือและตัวเซนเซอร์ให้น้อยที่สุดเพื่อจะได้ไปลดแขนของแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์

3.ความเป็นเส้นตรง(Linearity) ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงกับขนาดของแรงและโมเมนต์ที่กระทำจะทำให้การคำนวนหาขนาดของแรงและโมเมนต์ทำได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นการปรับเทียบก็ทำได้สะดวกยิ่งขึ้น

4.ไฮสเตอเรซิสและความเสียดทานภายในต่ำ(Low hytereresis and internal friction) ความเสียดทานภายใน (internal friction) จะเป็นตัวที่มีผลให้ค่าความไว (sensitivity) ของอุปกรณ์วัดแรงมีค่าลดลง เพราะว่าต้องสูญเสียแรงเพื่อเอาชนะค่าความเสียดทานอันนี้ก่อนที่จะสามารถทำการ วัดการยุบตัวได้ และยังมีผลให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ไฮสเตอเรซิส (hysteresis) ซึ่งทำให้การวัดค่าไม่กลับมาที่ค่าเดิมเหมือนตอนเริ่มต้นได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย